

## L'inversac (perte-émergence) de la résurgence du Bouillon (source du Loiret, France)

Patrick Albéric

Institut des Sciences de la Terre d'Orléans (ISTO), UMR 6113 CNRS-Université d'Orléans, Bâtiment Géosciences, BP 6759, F 45067 Orléans cedex 2, [Patrick.Alberic@univ-orleans.fr](mailto:Patrick.Alberic@univ-orleans.fr)

### Résumé

Le fonctionnement en perte de la source du Loiret est contrôlé par les hauteurs d'eau de la Loire et de la rivière le Dhuy suivant une relation du type :  $H_{Dhuy} = e^{(2 + 0.05 H_{Loire})} + 63$ .

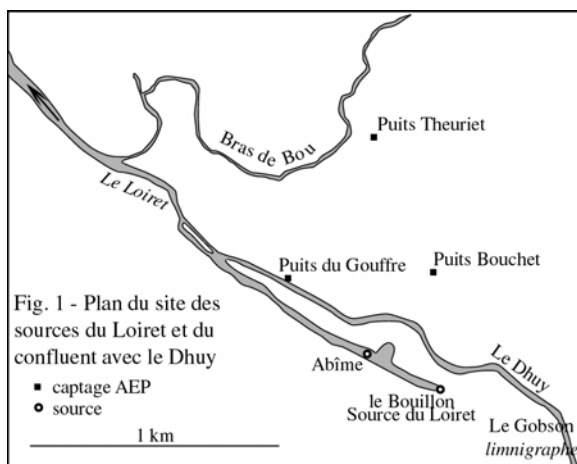
### 1. Introduction

L'absorption d'eau de ruissellement par les aquifères karstiques entraîne d'une manière générale un risque important de contamination des ressources en eau souterraine. Le risque est considérablement aggravé lorsque l'absorption se produit de manière inattendue en des points (normalement) d'émergence, situés à proximité immédiate des captages principaux d'une agglomération. Une telle situation d'écoulement inverse des eaux s'observe depuis quelques années à la principale source de la rivière Loiret, dite du Bouillon, en bordure immédiate du champ captant de l'agglomération orléanaise. Dans son fonctionnement normal, la source du Bouillon est un des points principaux de résurgence artésienne des eaux de Loire perdues au contact des calcaires karstifiés de la formation de Beauce, 10 à 20 km en amont d'Orléans (CAUDRON et al. 1965). En période estivale (avec une contribution faible des précipitations locales), la composition chimique des eaux résurgentes dérive directement de celle de la Loire et de l'oxydation de la matière organique fluviale pendant le

transit souterrain (ALBERIC 1998; ALBERIC & LEPILLER 1998). L'intrusion des eaux boueuses dans la vasque du Bouillon et les drains karstiques provient de l'écoulement d'un ruisseau (le Dhuy) drainant la partie sud du val d'Orléans et dont le confluent avec le Loiret est situé environ 1 km en aval de la vasque (Fig. 1). Le phénomène peut durer de quelques heures à quelques jours et entraîner l'absorption de plusieurs dizaines de milliers de m<sup>3</sup> d'eau par jour. Le terme d'"inversac" (GESE 1987) semble approprié pour décrire le fonctionnement occasionnel en perte d'une émergence pérenne. Depuis juillet 1997, l'observation attentive de la source a permis de répertorier une dizaine d'épisodes d'inversac. Tous ont eu lieu entre avril et décembre, à des périodes de bas niveau de la Loire et de fortes pluies locales entraînant la montée rapide des eaux du Dhuy. Les conditions du contrôle de l'inversac par les niveaux de la Loire et du Dhuy sont abordées dans ce travail pour la période 1997-2000 et étendues à la dernière décennie.

### 2. Site d'étude et origine des données

Le confluent du Loiret et du Dhuy, en bordure du champ captant de la ville d'Orléans, est représentée Fig. 1.



Dès sa mise en service, la prise d'eau d'Orléans a présenté une vulnérabilité importante aux pollutions apportées par les eaux superficielles, principalement à cause des pertes localisées dans le lit du Dhuy (MARBOUTIN 1902, CAUDRON & DESPREZ 1974).

En aval du confluent, le cours naturel du Loiret est entravé par les chaussées des moulins qui délimitent plusieurs biefs dont les niveaux sont influencés par le débit

des sources et du Dhuy, le niveau de la Loire à son confluent avec le Loiret et le jeu des vannes (SAINJON 1880; 1888).

Les variations du débit des sources ainsi que les niveaux piézométriques dans le val sont étroitement liés aux fluctuations de la Loire (CAUDRON et al. 1965).

Le fonctionnement alternativement émissif ou absorbant, en fonction du régime de la Loire, de la plupart des gouffres pouvant se former dans le val d'Orléans, n'est pas différent de celui décrit aujourd'hui pour la source du Loiret (BLANCHARD 1903). Le fonctionnement intermittent du Bouillon dans le passé semble attesté par la présence dans certaines parties de la cavité de dépôts organiques datés d'environ 1700 ans BP (datation J. F. Salièges). Pour les périodes plus récentes, les auteurs (XVII-XVIII<sup>ème</sup> siècles) ne mentionnent cependant pas d'évènements de ce type.

Les variations de niveau du Dhuy ont été enregistrées par le limnigraphe de la station du Gobson (Fig. 1). Les hauteurs journalières moyennes ont été calculées à partir des débits moyens journaliers (données DIREN-Centre).

Les hauteurs d'eau de la Loire sont observées le matin à l'échelle n°1 d'Orléans (pont Georges V, données DDE-Loiret).

Les données pluviométriques journalières proviennent des stations d'Orléans-la-Source, de Marcilly-en-Vilette et de Villemurlin (Météo-France).

Depuis juillet 1997 (date du premier épisode répertorié) l'inventaire des épisodes d'inversac a été établi par observation directe, organisée par l'Université d'Orléans avec le concours du Parc Floral de la Source, de l'Association Syndicale de la Rivière Loiret et de l'association Spéléologie Subaquatique Loiret. Un exemple est décrit Fig. 2. La période d'écoulement inverse (absorption des eaux de surface) est représentée en grisé. On peut observer que le phénomène survient après un épisode pluvieux important (8-11 décembre 1997) et pendant une période de bas niveau de la Loire. Le deuxième épisode pluvieux (16-18 décembre), de même ampleur que le précédent n'a pas les mêmes conséquences lorsque le niveau de la Loire est plus élevé.

Le transit des eaux absorbées intéresse une grande partie de l'aval du système du val d'Orléans (jusqu'aux sources de la Pie situées à plus de 8 km à l'ouest) comme l'indiquent les traçages du Bouillon effectués en période d'inversac ou en plongée dans le réseau aval de la résurgence (traçages Albéric - Lepiller - Spéléologie Subaquatique Loiret).

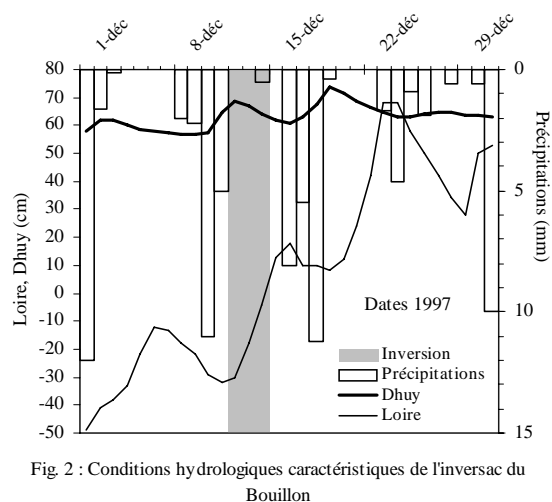


Fig. 2 : Conditions hydrologiques caractéristiques de l'inversac du Bouillon

### 3. Résultats

Le point caractéristique de chaque jour de juin 1997 à octobre 2000 a été reporté dans un diagramme hauteur d'eau du Dhuy *versus* hauteur d'eau de la Loire (Fig. 3). Pour le Dhuy, il s'agit de la valeur déduite du débit moyen journalier, pour la Loire, il s'agit de la cote relevée la veille en début de journée. La prise en compte de la cote de Loire de la veille plutôt que de celle du jour permet une meilleure adéquation (surtout pour les périodes de forte crue de la Loire) entre observation et simulation (voir ci-après Fig. 4).

L'ensemble des points correspondant aux épisodes de fonctionnement en perte de la source du Bouillon forme un domaine limité par une courbe d'allure exponentielle qui est mieux ajustée par une fonction du type  $e^{(a+bx)}$  que par une

fonction linéarisable. La courbe tracée Fig. 3 correspond à l'équation suivante :

$$H_{\text{Dhuy}} = e^{(2 + 0.05 H_{\text{Loire}})} + 63$$

où  $H_{\text{Dhuy}}$  et  $H_{\text{Loire}}$  représentent respectivement les hauteurs d'eau exprimées en cm du Dhuy et de la Loire.

La relation de type exponentiel exprime la résistance croissante à l'absorption des eaux du Dhuy par la cavité du Bouillon en fonction de l'élévation du niveau de la Loire et par conséquent de l'augmentation du débit de la source. Il ne semble pas que l'inversion soit possible pour des hauteurs de Loire supérieures à 25 cm.

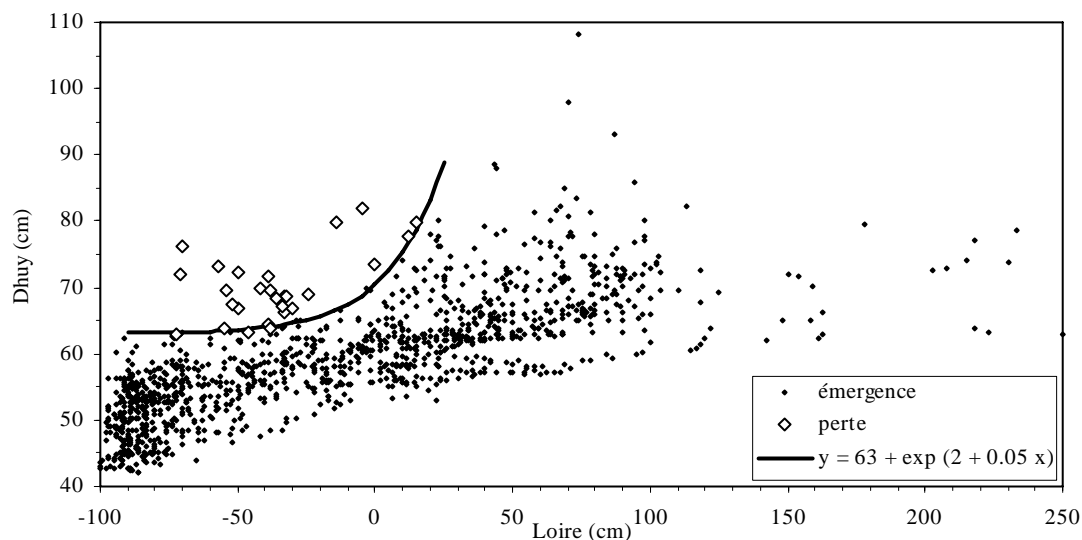


Fig. 3 : Hauteurs d'eau du Dhuy (au Gobson) et de la Loire à Orléans du 1<sup>er</sup> juin 1997 au 10 octobre 2000  
Indication du fonctionnement émissif ou absorbant de la cavité du Bouillon

L'équation définie ci-dessus peut être utilisée pour calculer un indice journalier d'intensité d'absorption de la cavité. L'indice est défini comme la différence entre la hauteur d'eau journalière moyenne du Dhuy et la valeur

limite d'inversion calculée pour une hauteur d'eau donnée de la Loire.

$$\text{Indice d'absorption} = H_{\text{Dhuy}} - e^{(2 + 0.05 H_{\text{Loire}})} - 63$$

Appliqué à l'ensemble des données de la période de référence (1997-2000), l'indice calculé suivant la relation précédente permet de reconstituer tous les épisodes répertoriés, avec une indication de l'intensité du phénomène

qui traduit bien la réalité des observations, sans prévoir l'occurrence d'événements supplémentaires ayant échappé à l'observation (Fig. 4).

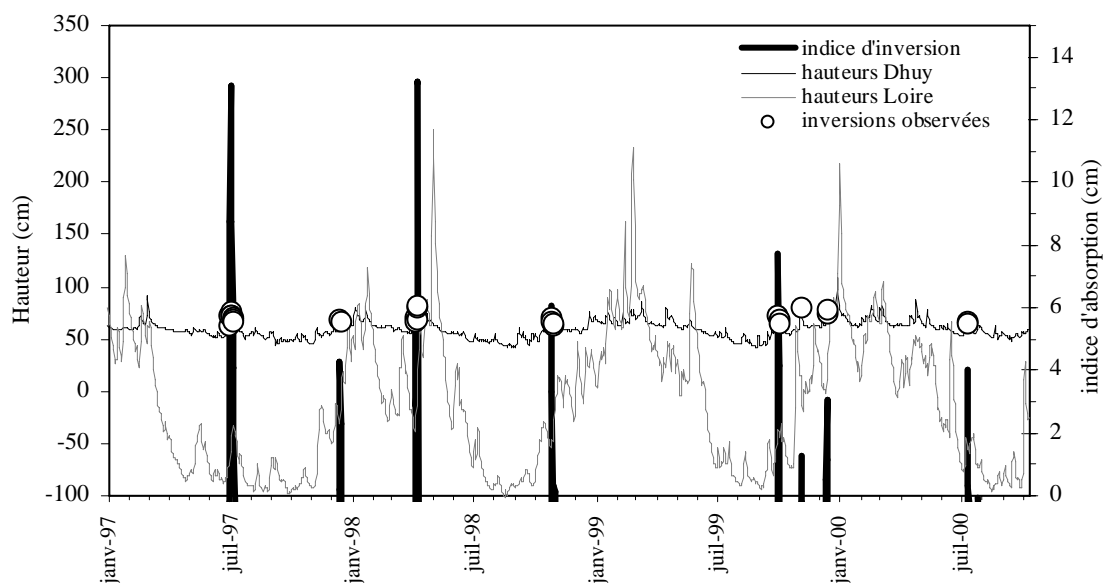


Fig. 4 : Comparaison entre les observations avérées de l'inversion de l'écoulement et la variation de l'indice

Ce résultat rend possible la prévision à 24 heures de l'inversion d'écoulement de l'eau à la source du Bouillon. Le délai est suffisant pour ajuster la répartition du prélèvement entre les différents captages (Fig. 1) s'il s'avérait que la qualité des eaux pompées au Puits du Gouffre était influencée par le fonctionnement en perte du Bouillon.

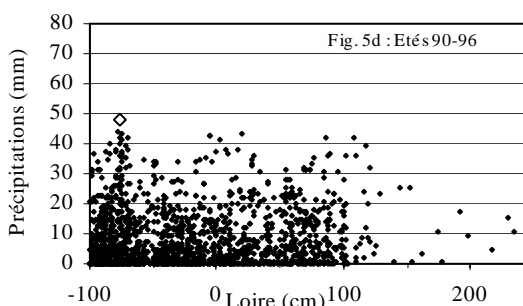
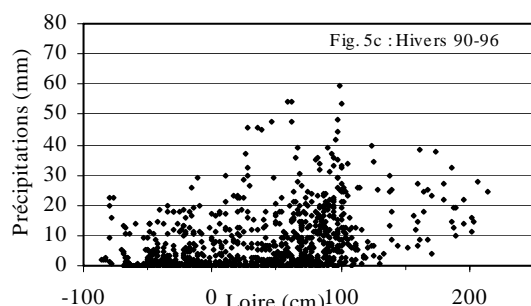
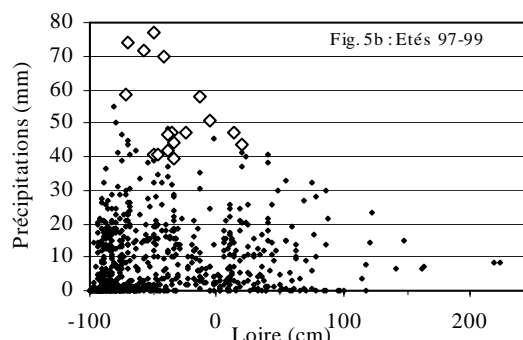
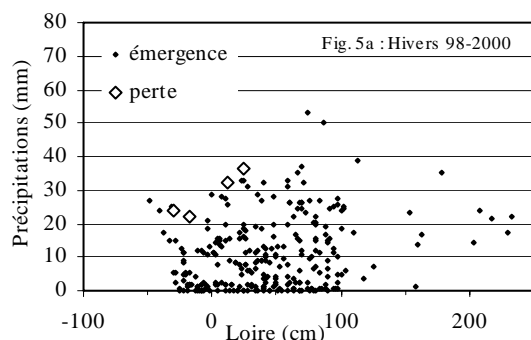
Le contrôle apparent du phénomène d'inversac par les deux seuls paramètres pris en compte (hauteurs de la Loire et du Dhuy) confirme s'il en était besoin le lien étroit existant entre le régime de la Loire et celui des sources du Loiret (et plus généralement de la piézométrie du val, CAUDRON et al. 1965). L'élément nouveau concerne le rôle joué par le régime du Dhuy qui en période de crue vient contrarier l'écoulement du Loiret, du confluent à la source du Bouillon (Fig. 1). Cette observation est à rapprocher de l'expérience ancienne datant de l'époque d'exploitation des moulins qui décrit les différents phénomènes de reflux des eaux en fonction du régime de la Loire (SAINJON 1888) ou des niveaux des bassins artificiellement maintenus par les chaussées; les eaux du bassin le plus amont pouvant refluer jusque vers des pertes situées dans le Dhuy.

Appliqué à la période 1990-2000, l'indice d'absorption ne prévoit l'existence que d'un seul épisode d'inversac supplémentaire, début novembre 1996, posant ainsi la question de la particularité de la fin des années 90 vis à vis de ce phénomène. Le report des données pluviométriques en fonction des hauteurs d'eau de la Loire (Fig. 5) permet de dégager l'hypothèse la plus vraisemblable. Pour la période 1997-2000, répartie en deux saisons, 1<sup>er</sup> décembre - 31 mars (Fig. 5a) et 1<sup>er</sup> avril - 30 novembre (Fig. 5b), les jours d'absorption montrent un cumul des précipitations (sur 4 jours) plus important que ceux de fonctionnement normal de la source (pour une même hauteur d'eau en Loire). Bien que la complexité des relations pluie-débit rende la limite entre les deux domaines de fonctionnement de la source

moins facile à discerner que dans la Fig. 3, il semble que 20-30 mm de précipitations cumulées constituent le seuil en période hivernale et 40-50 mm celui en période estivale. La comparaison avec le début de la décennie montre que très peu de points se situent au-dessus de ces limites (surtout en été) pendant la période 1990-1996 (Fig. 5b&5c). La conclusion de cette étude préliminaire des relations entre précipitations et régime de la source sur une période de 10 ans est que les conditions météorologiques (pluviométrie importante pendant les bas niveaux de la Loire) constituent le facteur déterminant à l'origine de son inversion et que des périodes du même type ont certainement du exister dans le passé, sans avoir apparemment été relatées. Reconnaître le rôle essentiel des facteurs météorologiques dans le déclenchement du phénomène revient à considérer comme peu probable ou secondaire celui d'autres mécanismes propres au système; comme une variation brutale de la relation pluie-débit ayant pu affecter l'impluvium local, l'augmentation des prélèvements agricoles, une modification hypothétique de la gestion du niveau des biefs des moulins ou des circulations karstiques débouchant à la source du Bouillon, ou encore l'enfoncement du lit de la Loire dans le Val d'Orléans. Concernant ce dernier point, si la tendance à la stabilisation observée depuis la suspension en 1992 des autorisations d'extraction de granulats dans le lit mineur (DIREN-Centre, travaux non publiés) ne permet pas d'expliquer un phénomène (inversac) qui serait apparu à la fin des années 90, l'enfoncement du lit de la Loire moyenne depuis un siècle et demi (abaissement de plus d'un mètre de la ligne d'eau, en amont d'Orléans, pendant la période d'étiage) a certainement eu un effet général négatif sur le débit des sources (GASOWSKI 1994). Sur le phénomène d'inversac lui-même, l'effet d'un niveau d'étiage relevé de 1 m serait (dans les conditions actuelles) de supprimer quasiment son éventualité. L'aménagement du

cours du Dhuy a certainement modifié également son régime hydraulique en accentuant l'importance des crues. On peut donc considérer que l'absorption actuelle des eaux du Dhuy par la cavité du Bouillon est un révélateur de

l'impact des aménagements des dernières décennies sur la circulation des eaux superficielles et souterraines dans le val d'Orléans.



#### 4. Conclusion

La comparaison de la pluviométrie et des variations des cotes de la Loire et du Dhuy pendant le fonctionnement alternativement émissif ou absorbant de la résurgence amont du Loiret permet de définir les conditions du déclenchement de l'inversion de l'écoulement normal de la source et de prévoir son apparition au moins un jour à l'avance, laissant envisager la possibilité d'orienter, le cas échéant, l'exploitation des captages AEP proches du site. Bien que dépendant de l'aléa météorologique, le phénomène semble aussi pouvoir résulter des transformations dues aux opérations d'aménagement réalisées depuis un siècle.

#### Références

- ALBERIC, P. 1998. Transformation of riverine organic matter from sinking stream recharge to spring discharge in a karst aquifer. *Mineralogical Magazine*, 62A: 36-37.
- ALBERIC, P. & LEPILLER, M. 1998. Oxydation de la matière organique dans un système hydrologique karstique alimenté par des pertes fluviales (Loiret, France). *Water Research*, 32: 2051-2064.
- BLANCHARD, R. 1903. Le Val d'Orléans. *Annales de Géographie*, 12: 307-323.
- CAUDRON, M., ALBINET, M., COTTEZ, S. & MARGAT, J. 1965. Les sources du Loiret - Guide hydrogéologique. *Bulletin du BRGM*, 3 : 183-202.
- CAUDRON, M. & DESPREZ, N. 1974. Recherche de l'origine et état actuel des pollutions observées dans les captages du Gouffre, du Theuriet et du Bouchet à St Cyr en Val et Orléans (Loiret). BRGM, rapport 74SGN212BDP, 35 p.
- GABERSCIK, A. & URBAN-BERCIC, O. 1996. Monitoring approach to evaluate water quality of intermittent lake Cerknica. *Water Science and Technology*, 33, 357-362.

L'étude de cette période entière par la méthode développée dans ce travail pourrait permettre de préciser l'ancienneté du phénomène, à condition de pallier au manque de données concernant le Dhuy. Un suivi plus précis des épisodes d'inversion demanderait l'installation d'un dispositif d'enregistrement automatique, indispensable à l'étude de ce type particulier de cavité, dont la présence dans l'ensemble des bassins du Loiret fait penser aux lacs karstiques intermittents (MONBARON & BOUVIER 1999, GABERSCIK & URBAN-BERCIC 1996).

- GASOWSKI, S. 1994. L'enfoncement du lit de la Loire. *Revue de Géographie de Lyon*, 69 : 41-45.
- GESE, B. 1987. Les mésaventures des sources de l'Estavelle et de l'Inversac en Languedoc méditerranéen. *International Journal of Speleology*, 16 : 101-109.
- MARBOUTIN, F. 1902. Rapport sur les eaux de la ville d'Orléans. Michau & Cie, Orléans, 13 p.
- MONBARON, M. & BOUVIER, J.-C. 1999. L'estavelle du Creugenat (Canton du Jura, Suisse): chroniques des crues et dispositif moderne d'observation. Karst 99-European Conference, *Etudes de Géographie physique*, sup. XXVIII: 145-150.
- SAINJON, H. 1880; 1888. La Loire, le Loiret et les courants souterrains du val d'Orléans. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 91: 242-245; Herluison, Orléans, 22 p.